

Tampereen ammattikorkeakoulu, amk-tutkinto
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kone- ja laiteautomaatio
Tero Mäkilä

Opinnäytetyö

Paloauton ohjaus ohjelmoitavalla logiikalla

Työn ohjaaja
Työn tilaaja
Tampere 6/2010

yliopettaja, TkL Olavi Kopponen
Paja Viher-Vehmas Ky, ohjaajana Pasi Viher-Vehmas

Tekijä	Mäkilä, Tero
Työn nimi	Paloauton ohjaus ohjelmoitavalla logiikalla
Sivumäärä	35 sivua
Valmistumisaika	kesäkuu 2010
Työn ohjaaja	yliopettaja, TkL Olavi Kopponen
Työn tilaaja	Paja Viher-Vehmas Ky, ohjaajana Pasi Viher-Vehmas

TIIVISTELMÄ

Paloautoja valmistetaan tarpeista riippuen pienistä pakettiautokokoluokan autoista isoihin säiliöautoihin. Toimilaitteiden lisääntyminen ja monimutkaistuminen ovat tuoneet mukanaan myös ohjaustarpeiden kasvamiseen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella kosketusnäytöllä varustettu logiikkaohjaus kevytpaloauton järjestelmien ohjaukseen.

Työn tuloksena saatiin logiikkaohjelma, joka ohjaan paloauton toimintoja, sekä käyttöpaneelin ohjelma, joka välittää käyttäjälle informaatiota ja jonka kautta käyttäjä voi kytkeä haluttuja toimintoja päälle.

Tässä raportissa esitellään logiikkaohjaus käyttäen SKS Control Mini-PLC -logiikkaa, Modbus-väyläratkaisu logiikan ja käyttöpaneelin väliseen kommunikointiin, sekä esitellään kosketusnäyttöjen rakennetta ja Weintek-kosketusnäytön ohjelmointia.

Writer	Tero Mäkilä
Thesis	Programmable control system for fire trucks
Pages	35 pages
Graduation time	June 2010
Thesis supervisor	Principal Lecturer, Lic. Tech. Olavi Kopponen
Co-operating Company	Paja Viher-Vehmas Ky, supervisor Pasi Viher-Vehmas

ABSTRACT

There are manufactured many different size of fire trucks, depending what the customers need. Fire trucks equipment has been came more complex and that is the reason why today's fire truck has equipped whit electric control system.

Purpose of this work was designs the programs for programmable logic controller and touch display. These programs are designed to use for controlling small fire trucks equipment.

Result of this thesis is two programs. One program for Mini-PLC -logic, which controls the fire trucks systems and other program for touch display. Touch display works in the system like human machine interface. User can activate different kind of functions from the display. Display also shows the information for the user.

Sisällysluettelo

1 Johdanto	6
1.1 Tehtävä.....	6
1.2 Paja Viher-Vehmas Ky	6
2 Lähtökohta.....	7
2.1 Kevytsammutusyksikkö	7
2.2 Ohjausjärjestelmältä vaaditut toiminnot	8
2.3 Toimintojen sijoitus	9
3 Ohjelmoitava logiikka.....	11
3.1 Ohjelmoitavien logiikoiden historia.....	11
3.2 Ohjelmoitavien logiikoiden rakenne	11
4 Kosketusnäytöt.....	12
4.1 Yleistä kosketusnäytöistä	12
4.2 Resistiivinen kosketuselementti	12
4.3 Kapasitiivinen kosketuselementti.....	14
4.4 Ultraäänellä toimiva kosketuselementti	15
4.5 Infrapunatekniikkaan perustuva kosketuselementti	16
4.6 Nestekidenäyttö.....	17
5 Modbus-väylä.....	18
5.1 Väylärakenne.....	18
5.2 Kommunikointiperiaate	19
5.3 Kommunikointikehys	20
5.4 Fyysinen liityntä.....	21
6 Ohjausjärjestelmä.....	22
6.1 Mini-PLC-logiikka	22
6.2 Näyttö	23
6.3 Järjestelmän kytkentä	24
7 Ohjelmointi	27
7.1 Logiikan ohjelmointi	27
7.2 Järjestelmän toiminnot	28
7.3 Näytön ohjelmointi	30
8 Yhteenveto	34
Lähteet.....	35

Sanasto

CPU	Central Processing Unit eli prosessori
IR	Infrapuna
LED	Light emitting diode, valodiodi (puolijohde komponentti)
LCD	Nestekidenäyttö
Master	Isäntälaitte
Slave	Orjalaite
A/D	Analogia / digitaali
Even	Parillinen luku
Baud	Kommunikointinopeuden yksikkö bittinä / s
Broadcast	Yleinen viesti kaikille laitteille
Unicast	Yksityinen viesti

1 Johdanto

1.1 Tehtävä

Työn tarkoituksena oli suunnitella logiikkaohjelma kevytpaloauton järjestelmien ohjaukseen sekä käyttöpäätteeksi tulevan kosketusnäytön ohjelman suunnittelu. Näiden lisäksi työhön kuului näytön ja logiikan välisen kommunikoinnin suunnittelu.

Logiikkaohjauksen tarkoituksena on automatisoida tiettyjä toimintoja, kuten vesisäiliön täyttö, jolloin auton käyttäjältä vapautuu aikaa tehdä muita, mahdollisesti tärkeämpiä töitä. Automatisoinnin tarkoitus on myös vähentää inhimillisiä virheitä, joista voisi seurata esim. veden loppuminen säiliöstä. Logiikkaohjauksella voidaan myös helpottaa ja yksinkertaistaa erilaisten toimintojen suorittamista. Käyttöpäätteellä voidaan antaa käyttäjälle monipuolisempaa informaatiota eri järjestelmien tilasta.

1.2 Paja Viher-Vehmas Ky

Paja Viher-Vehmas Ky valmistaa palo- ja pelastusalan ajoneuvoja. Näiden lisäksi yritys varustelee ajoneuvoja mm. puolustusvoimien käyttöön. Paloautot valmistetaan ja varustellaan aina tilausten perusteella, asiakkaan tarpeisiin räätälöiden. Valmistettavien paloautojen koot vaihtelevat pienistä pakettiautokokoluokan autoista isoihin säiliöautoihin.

2 Lähtökohta

2.1 Kevytsammutusyksikkö

Ohjausjärjestelmä suunniteltiin pakettiautosta valmistettavaa kevytsammutusyksikköä varten (kuvio 1). Tämä auto koostuu 1000 litran vesisäiliöstä, pienestä vaahtonestesäiliöstä sekä polttomoottorikäyttöisestä vesipumpusta. Vesipumppua pyörittävä polttomoottori käyttää myös paineilmakompressoria, jonka tuottamaa paineilmaa käytetään sammutusvaahton muodostamiseksi sekä putkistossa olevien venttiilien ohjaamiseksi.



Kuvio 1: Kevyt sammutusyksikkö (Paja Viher-Vehmas)

2.2 Ohjausjärjestelmältä vaaditut toiminnot

Ohjelmoitavalla logiikalla haluttiin ohjata vesisäiliön automaattitäyttöä, hälytyslaitteita, työvaloja sekä polttomoottorin jäähdytyspuhaltimia. Näiden lisäksi kosketusnäytölle haluttiin välittää informaatiota vesisäiliön veden määrästä, akkujännitteestä sekä kertoa järjestelmän tilaan liittyviä asioita viestiruudulla.

Vesisäiliön automaattitäytön tarkoituksena on pitää vesisäiliössä riittävästi vettä. Lisävesi voidaan syöttää autoon esim. palopostista tai toisesta autosta. Kun toiminto on kytkettynä päälle, vesisäiliön vedenpinta pidetään ohjelmoitujen ylä- ja alarajojen välissä. Veden syöttöä ohjataan pneumaattisella kaksiasentoisella lautasventtiilillä, jonka pneumatiikkaa logiikka ohjaa 5/2-suuntaventtiilillä.

Vesipumppua pyörittävän polttomoottorin jäähdytyspuhaltimien kytkemisellä logiikkaohjaukseen mahdollistettiin polttomoottorin jälkijäähdytys.

Hälytyslaitteiden ja työvalojen kytkemisellä ohjelmoitavaan logiikkaan mahdollistettiin niiden käyttöpainikkeiden sijoittaminen kosketusnäytölle.

2.3 Toimintojen sijoitus

Tässä paloautossa olevat hallintalaitteet sijaitsevat auton takana ja ohjaamossa. Auton takaa hoidetaan pumpun ohjausta ja siihen liittyviä toimintoja kuten säiliöiden nestemääriä ja vesisäiliön automaattitäyttöä. Kuviossa 2 näkyy auton takana oleva ohjauspaneeli.



Kuvio 2: Auton takana olevat hallintalaitteet (Paja Viher-Vehmas)

Kuviossa 3 näkyy paloauton ohjaamoon sijoitetut laitteet. Ohjauspyörän vasemmalla puolella oleva näyttö on navigointia ja peruutuskameraa varten. Oikeanpuoleinen näyttö on paloauton ohjaukseen tarkoitettu kosketusnäyttö, jota tässä työssä käsitellään.

Auton ohjaamossa olevalta kosketusnäytöltä ohjataan työvaloja, hälytysvilkkuja ja hälytysääntä. Kosketusnäytöltä näkyy myös vesisäiliön vesimäärä ja akkujännite. Ohjaamossa ei käytetty erillisiä ohjauskytkimiä, vaan kaikki käyttökytkimet ohjelmoitiin näytölle.



Kuvio 3: Ohjaamossa olevat hallintalaitteet (Paja Viher-Vehmas)

3 Ohjelmoitava logiikka

3.1 Ohjelmoitavien logiikoiden historia

Ohjelmoitavat logiikat ovat syntyneet 1950-luvun lopussa, jolloin Siemens esitteli transistoreilla tehdyn Simatic G -logiikan. Ne kehitettiin korvaamaan releillä tehtyä kiinteää logiikkaa, koska releet olivat vikaherkkiä ja työläitä käyttää. (Hänninen 2008, 40.)

3.2 Ohjelmoitavien logiikoiden rakenne

Ohjelmoitavat logiikat eli PLC:t (Programmable Logic Controller) koostuvat mikroprosessorista sekä erilaisista muistipiireistä, joihin esim. ohjelma tallennetaan. Ohjelmoitavaan logiikkaan kytkettäviä laitteita varten ne ovat varustettuina tulo- ja lähtöliitännöillä. Tulo- ja lähtöliitännät voivat olla integroituina yhdeksi paketiksi itse logiikan kanssa, tai ne voivat olla erillisiä moduuleita, joita liitetään logiikan keskusyksikköön (CPU). Logiikka ohjaa lähtöihin kytkettyjä laitteita käyttäjän tekemän ohjelman ja tulevien anturitietojen perusteella. Käyttäjän tekemä ohjelma on tallennettu pysyväälle tai paristovarmennetulle muistialueelle tai muistikortille, jolloin mahdollinen sähkökatko ei hävitä sitä. Muistikortilla oleva ohjelma voidaan myös siirtää helposti uuteen logiikkaan, jos aiempi logiikka rikkoontuu.

Ohjelmoitaviin logiikoihin on saatavilla runsaasti erilaisia I/O-kortteja (input/output). Digitaalisia I/O-kortteja käytetään ohjaamaan esim. merkkivaloja päälle tai pois päältä, jolloin tiloja vastaavat digitaalisignaalit 1 ja 0. Vastaavasti digitaalituloilla voidaan lukea esim. painikkeiden, kytkimien ja digitaalilähdöillä olevien antureiden tiloja. Analogisia tulo- ja lähtökortteja käyttämällä voidaan lukea esim. paineanturin lähettämää tietoa tai ohjata analogista mittaria. Teollisuudessa yleisesti käytettyjä analogiaviestejä ovat 4 - 20 mA:n tai 0 - 20 mA:n virta viestit sekä 0 - 10 V:n tai +- 10 V:n jännite viestit. Näille analogiaviesteille on saatavissa valmiita kortteja logiikkaan kytkettäviksi.

4 Kosketusnäytöt

4.1 Yleistä kosketusnäytöistä

Kosketusnäyttöjen historia alkaa 70-luvun alkupuolelta, jolloin ensimmäisiä yksinkertaisia kosketusnäyttöjä alettiin hyödyntää käytännön sovelluksissa. Viime vuosina ne ovat yleistyneet paljon ja ne ovat löytäneet tiensä esimerkiksi puhelimiin. Kosketusnäyttöjen etuna on pieni tilantarve, koska erillistä näppäimistöä ei tarvita. Lisäksi niiden käyttäminen on helpompaa, koska näytöllä voidaan näyttää vain senhetkiseen toimintoon tarvittavat painikkeet ja informaatio. (Snellman 2009, 34.)

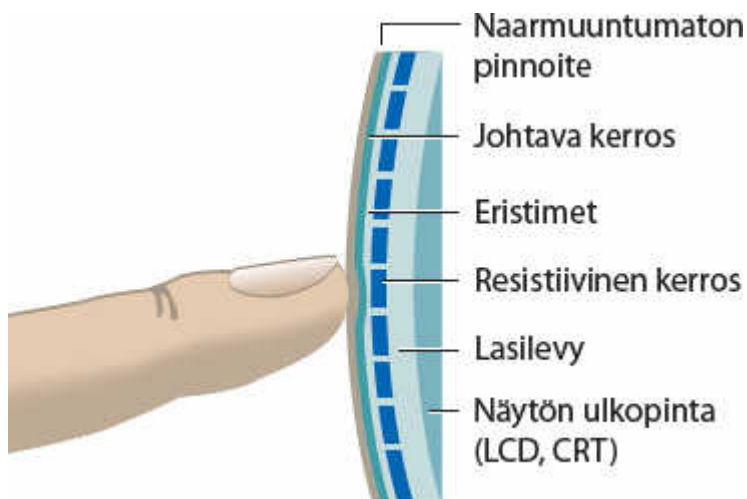
Kosketusnäyttö valmistetaan liittämällä tavallisen näytön (nestekide- tai kuvaputkinäyttö) pintaan läpinäkyvä kosketuselementti. Kosketusnäyttöä ohjataan suoraan sormella tai tähän tarkoitukseen tehdyllä tikulla. On myös olemassa kosketuselementtejä, jotka vaativat aktiivisen kohteen, joka voi olla esim. valoa lähettävä kynä. Ensimmäiset kosketuselementit pystyivät erottelemaan vain yhden kosketuksen kerrallaan, mutta nykyään on saatavilla malleja jotka pystyvät erottamaan useita yhtäaikaista kosketuksia ja mittaamaan jopa kosketukseen käytetyn voiman. (Snellman 2009, 35.)

Teollisuudessa käytetyissä näytöissä yleisin kosketuselementti on resistiivisesti toimiva. Resisttiivisen kosketuselementin hyviä puolia on hyvä veden ja pölyn sieto. Resisttiivinen kosketuselementti pystyy antamaan kosketuskohdan koordinaatit jopa kahdentoista bitin tarkkuudella. Näitä kosketuselementtejä valmistetaan neli- ja viisijohtimisina versioina. (Snellman 2009, 35.)

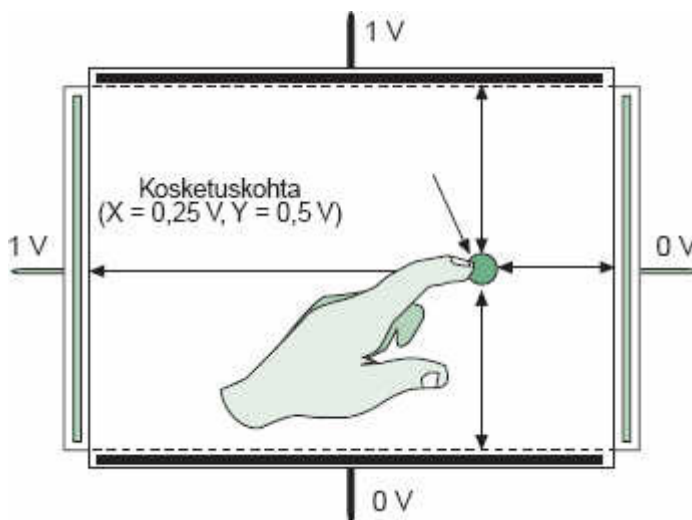
4.2 Resisttiivinen kosketuselementti

Viisijohtimisen resisttiivisen kosketuselementin toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat ohut johtava kerros ja resisttiivinen kerros. Näiden välissä on ohut nystyräinen eristekerros, joka pitää kerrokset erillään. Kun elementin pintaa kosketetaan, kerrokset osuvat toisiinsa siinä kohdassa (kuvio 4). Resisttiivisen kerroksen vastakkaisille sivuille kytketään vuorotellen jännite, ja ylempää johtavaa pintaa käytetään johtamaan

kosketuskohdassa oleva jännite mitattavaksi. Toiminto on verrattavissa potentiometrin toimintaan, eli kosketuselementti toimii tällöin kuten jännitejakopiiri. Tieto välitetään ohjainpiirille, joka laskee kosketuskohdan toisen koordinaatin. Toinen koordinaatti saadaan vaihtamalla jännitesyöttö resistiivisen kerroksen toisiin reunoihin ja mittaamalla jälleen kosketuskohtaan syntyvä jännite (kuvio 5). (Snellman 2009, 35.)



Kuvio 4: Resisttiivisen kosketuselementin rakenne (Snellman 2009, 35)



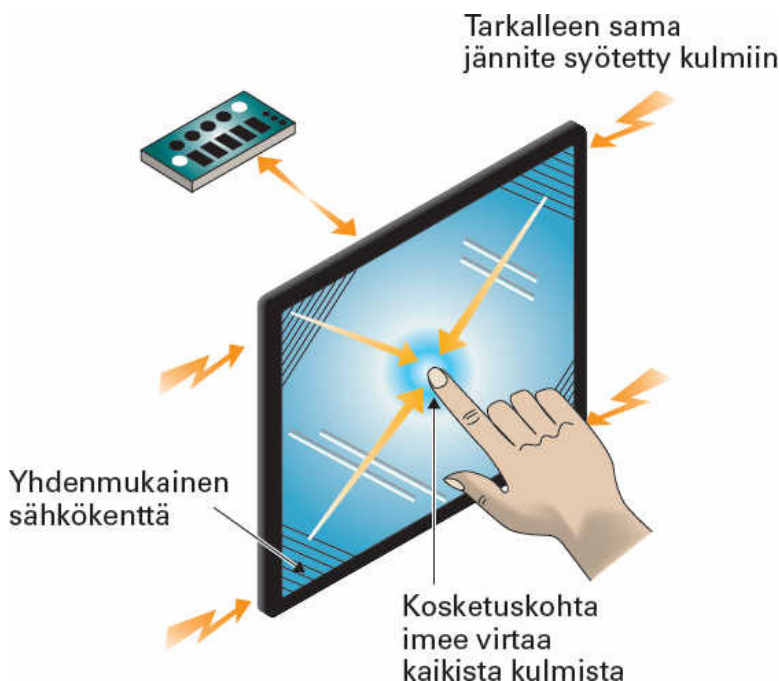
Kuvio 5: Resisttiivisen kosketuselementin kosketuskohdan määrittäminen (Wikström 2000, 50)

Nelijohtiminen resistiivinen kosketuselementti toimii melko samoin kuin viisijohtiminen, mutta siinä päällimmäinen johtava kerros on korvattu toisella resistiivisellä kerroksella. Resistiiivisiin kerroksiin johdetaan yksitellen jännite, ja toista resistiivistä kerrosta käytetään johtamaan kosketuskohdassa oleva jännite ohjainpiirille.

Mitattu jännite antaa koordinaatin yhden akselin suunnassa. Toinen akseli saadaan, kun pintojen roolit vaihtuvat, jolloin jännite kytketään toiseen kerrokseen toisen toimiessa tuntoelimenä. (Snellman 2009, 35.)

4.3 Kapasitiivinen kosketuselementti

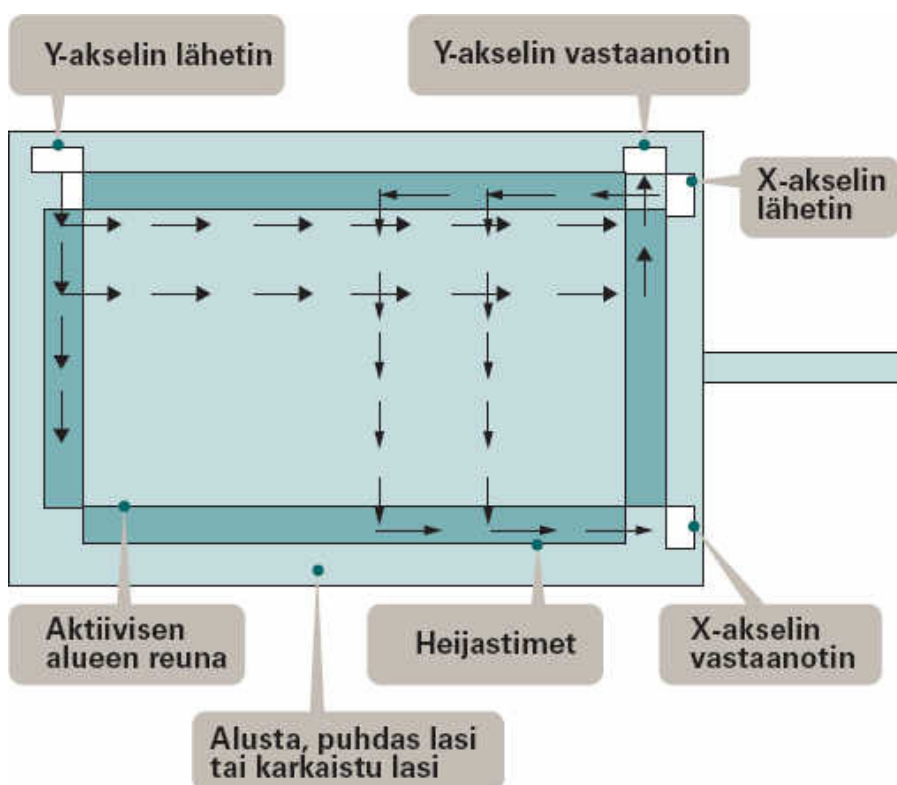
Seuraavaksi yleisin kosketusnäytöissä käytetty rakenne on kapasitanssin muutokseen perustuva. Näytön pinta on peitetty sähköä johtavalla kerroksella, jonka kuhunkin nurkkaan on liitetty johdin. Johtimista johdetaan tarkalleen sama jännite kulmiin, mikä aiheuttaa tasaisen sähkökentän pinnan yli. Kosketuskohdassa ihminen imee virtaa kaikista kulmista, mikä voidaan havaita ohjaimessa. Ohjain mittaa virtojen suhteet ja laskee niistä kosketuskohdan sijainnin näytöllä (kuvio 6). Koska ihminen on osana mittausta, vaikuttavat lattiapinnan tai muun alustan laatu sekä ihmisten yksilölliset erot kapasitanssissa kosketuspinnan toimintaan. Kapasitiivinen kosketuspinta ei toimi, jos käyttäjällä on hanskat kädessä, vaan pintaa on kosketettava sähköä johtavalla tikulla tai paljaalla sormella. Toisaalta kapasitiivinen kosketuselementti läpäisee paremmin valoa, koska siinä on vain yksi kalvo näytön päällä. Ne ovat myös kestävämpiä, koska niitä ei tarvitse painaa, vaan ne toimivat, kun sormenpää on riittävän lähellä näytön pintaa. (Snellman 2009, 35.)



Kuvio 6: Kapasitiivisen kosketuspinnan toiminta (Snellman 2009, 35)

4.4 Ultraäänellä toimiva kosketuselementti

Kosketuskohta voidaan tunnistaa myös ultraääntä hyväksikäyttäen. Menetelmässä lähetetään ultraääniaaltoja vaaka- ja pystyakselien suuntaan kohti akseleiden päässä olevia heijastimia, jotka ohjaavat aallot kunkin akselin omaan vastaanottimeen kuvio 7. (Snellman 2009, 35.)



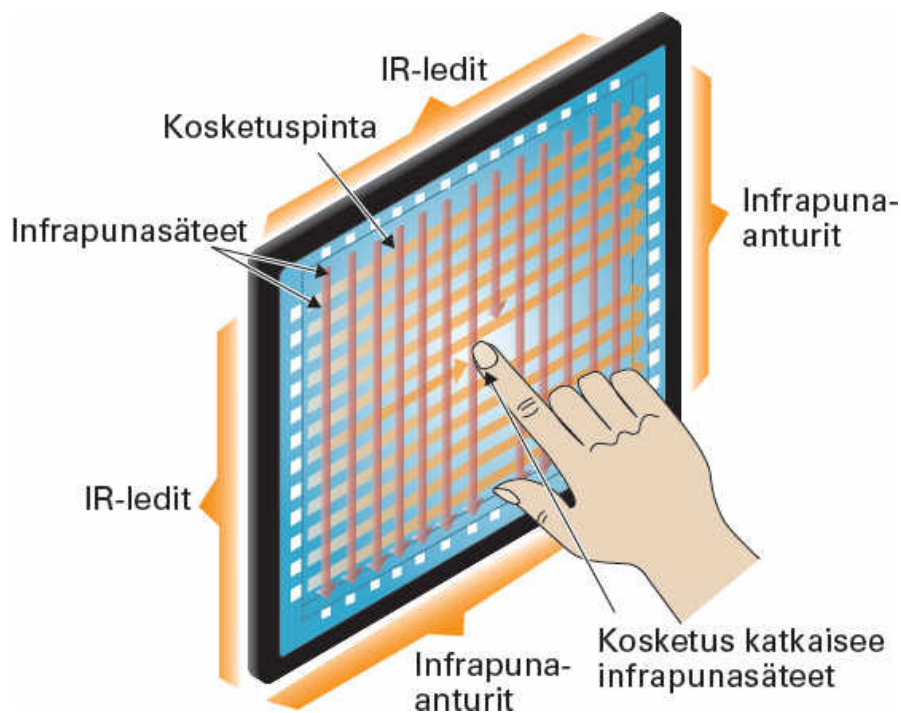
Kuvio 7: Ultraäänellä toimiva kosketuselementti (Snellman 2009, 34)

Lähetinkide lähettää yläkulmasta purskeen omaisen aaltopaketin heijastimeen kohti alakulmaa. Heijastimessa osa aalloista heijastuu yhdeksänkymmenen asteen kulmassa kohti vastapuolen heijastinta. Toisella puolella olevat heijastimet kääntävät taas aaltoja yhdeksänkymmentä astetta kohti vastaanotinta. Yläkulmasta lähetetty purske jakaantuu siten useampaan osaan, joista kukin kulkee U-muotoiseen reitin kosketuspinnan yli. Kukin osa saapuu perille hieman eri aikaan, koska reitit ovat eripituisia. Vastaanottimet tunnistavat tilanteet, joissa näytön pinnalla on absorboiva kohde kuten sormi. Silloin sormen alle jääneen U-muotoisen reitin aallon amplitudi on normaalia pienempi.

Ultraäänellä toimivat kosketuselementit ovat valonläpäisyltään erinomaisia koska minkäänlaista metallointia ei tarvita sähkönjohtamiseksi. Huonona puolina on, että elementti on herkkä ympäristön aiheuttamille häiriöille kuten pintaan kertyvälle lialle. (Snellman 2009, 35.)

4.5 Infrapunatekniikkaan perustuva kosketuselementti

Infrapunatekniikkaan perustuvissa kosketuselementeissä hyödynnetään infrapunaledejä ja infrapunailmaisimia vastakkaisilla puolilla. Kun näytön ulkoreunoille asetetaan riittävä määrä lähetin-vastaanotinpareja pysty- ja vaakasuuntaan, voidaan kosketuspiste määrittää katkenneista säteistä kuten kuviossa 8.

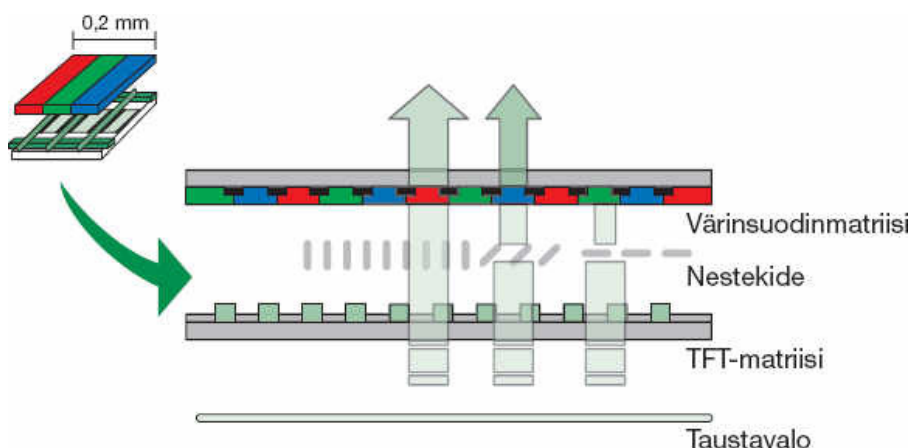


Kuvio 8: Infrapunatekniikkaan perustuva kosketuselementti (Snellman 2009, 35)

Infrapunatekniikan hyviä puolia on yksinkertainen ja kulumaton rakenne. Haittapuolena on kosketuskohdan vaatimaton erottelukyky, joka on muutaman millimetrin luokkaa parhaimmillaan. Lisäksi ympäristön valaistus voi aiheuttaa ongelmia. Virheitä voi lisäksi aiheuttaa parallaksi, kun sormi on vinossa pintaan nähden, koska itse näytön ja valonsäteiden väli voi olla useita millimetrejä. (Snellman 2009, 35-36.)

4.6 Nestekidenäyttö

Ensimmäiset aktiiviset nestekidenäytöt esiteltiin vuonna 1980. Sen jälkeen aktiivisten nestekidenäyttöjen yleisimmäksi valmistustekniikaksi on tullut TFT-rakenne (Thin Film Transistor). Aktiivinen nestekidenäyttö tarjosi monia etuja kuten parempi kuvan laatu ja pienempi vasteaika verrattuna passiiviseen näyttöön. Kuviossa 9 on TFT-nestekidenäytön rakenne. (Snellman 2003, 2004.)



Kuvio 9: TFT-nestekidenäytön rakenne (Snellman 2004, 37)

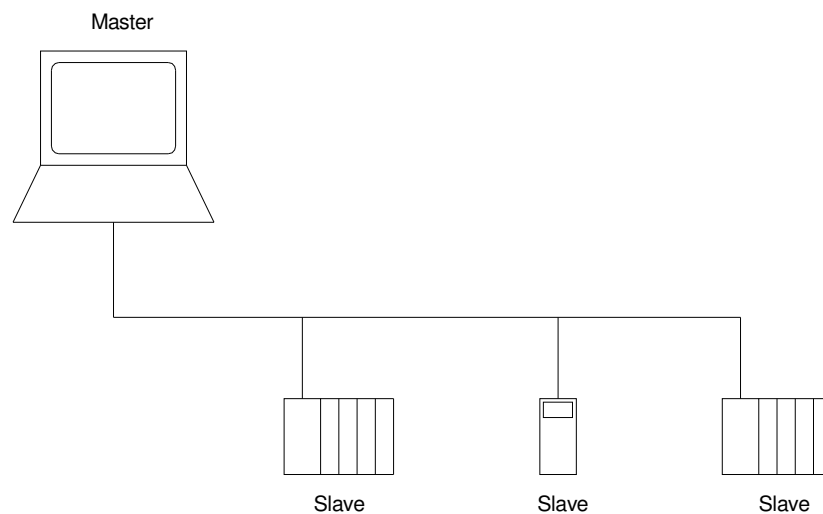
LCD-näyttöjen kuvat muodostetaan siten, että kukin kuvapiste muodostuu kolmesta ohjauspikselistä. Jokaisessa kolmen ohjauspikselin ryhmässä yksi ohjauspikseli saa päälleen punaisen, yksi vihreän ja yksi sinisen värisuotimen. Muut värit saadaan sekoittamalla näistä väreistä. Jokaisen ohjauspikselin värin kirkkautta säädetään muuttamalla pikselin ohjausjännitettä. Näin pystytään muodostamaan esim. kahdeksantoistabittinen värikartta (262 144 väriä) kun jokaista ohjauspikseliä ohjataan kuusibittisellä pikselinohjauksella eli 64:ään eri kirkkauteen. Ohjauspikselit muodostuvat TFT-matriisista, jossa kutakin pikseliä on ohjaamassa ohutkalvotransistori sekä nestekiteistä, joita transistori ohjaa. Ohutkalvotransistorin ohjaama virta saa nestekiteet järjestymään niin, että valo ei läpäise niitä. Näytön pohjalla on valoa johtava rakenne, jonka tarkoituksena on siirtää valoa näytön sivussa olevilta lampuilta ja tasata se koko näytön alueelle. Lamppuina näytöissä käytetään kylmäkatodiputkia tai nykyään yleistynyttä LED-valaistusta. (Snellman 2003, 2004.)

5 Modbus-väylä

5.1 Väylärakenne

Modbus on vuonna 1979 julkaistu sarjakommunikointiprotokolla. Se on yleisesti teollisuudessa käytetty väylä ohjelmoitavien logiikoiden, näyttöjen ja taajuusmuuttajien välisissä kytkennöissä. Modbus-väylän etuina ovat yksinkertaisuus, avoimuus ja lisenssi vapaus. Modbus RTU -väylän haittapuolena on uudempiin väyliin verraten hidas kommunikointinopeus. Modbus-väylät toimivat joko sarjaportin (Modbus RTU) tai ethernet-liittymän kautta (Modbus TCP/IP), ja siihen voidaan liittää useita eri laitteita. Väylässä toimii yksi isäntälaitte (Master) ja yksi tai useampi orja (Slave), kuten kuviossa 10 on esitetty. Enintään 247 slave-laitetta voidaan kytkeä samaan väylään.

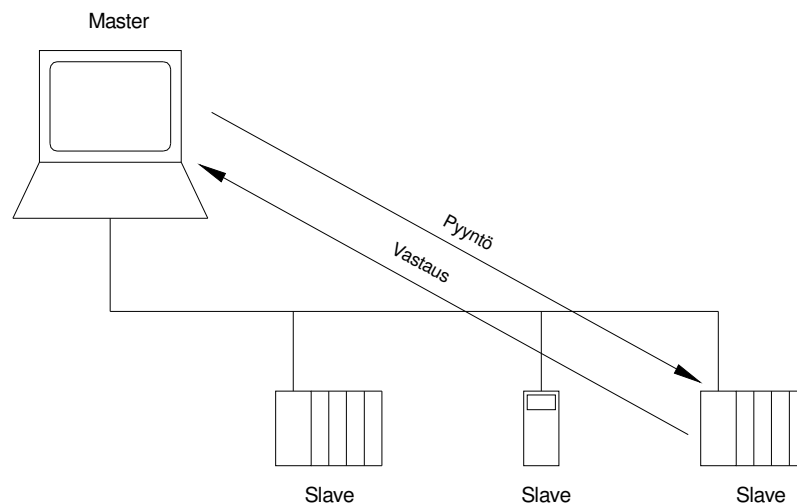
(Modbus_over...)



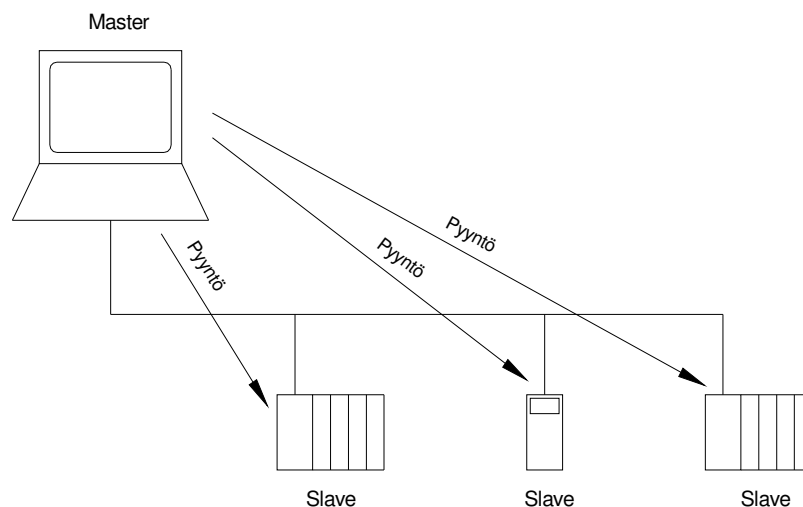
Kuvio 10: Modbus väylän periaate (Modbus_over...)

5.2 Kommunikointiperiaate

Väylässä olevat slave-laitteet lähettävät dataa ainoastaan master-laitteen pyynnöstä, ja slave-laitteet eivät pysty kommunikoimaan suoraan keskenänsä. Jokainen väylään liitetty slave-laite saa yksilöllisen osoitteensa, jonka perusteella master-laite osaa lähettää käskyt oikealle laitteelle. Master-laite voi lähettää pyynnön ainoastaan yhdelle laitteelle unicast-tilassa (kuvio 11) tai jos laitteet tukevat broadcast-tilaa, niin sama pyyntö voidaan tehdä kaikille laitteille yhtäaikaa (kuvio 12). Osoite nolla on varattu määrittämään, että kyseessä on broadcast-pyyntö ja loput osoitteet 1 - 247 ovat slave-laitteita varten. (Modbus_over...)



Kuvio 11: Modbus-kommunikointi unicast-tilassa (Modbus_over...)



Kuvio 12: Modbus-kommunikointi broadcast-tilassa (Modbus_over...)

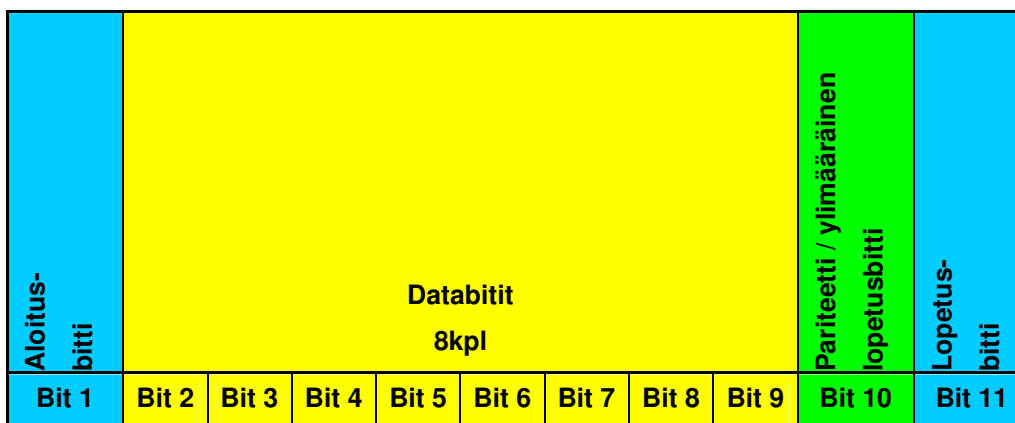
5.3 Kommunikointikehys

Modbus RTU:n kommunikointikehys koostuu neljästä osasta (kuvio 13), jotka ovat slave-laitteen osoite, toimintokoodi, tieto ja virheetarkistus osa. Kehyksien välissä on vähintään 3,5 merkin väli. Kun master-laite lähettää kyselyn slave-laitteelle, se asettaa osoitekenttään kyseisen laitteen osoitteen ja toimintokenttään halutun toimintokoodin. Toimintokentän jälkeen tulee datakenttä, johon voidaan antaa toimintoon liittyvää tietoa. Datakentän koko voi vaihdella välillä 0 - 252 tavua. Datakentän jälkeen on kaksi tavua pitkä virheetarkastuskenttä.

Slave-laitteen osoite	Toiminto- koodi	Tieto	Virheen- tarkistus
1 tavu	1 tavu	0 - 252 tavua	2 tavua

Kuvio 13: Modbus-kommunikointikehys

Modbus RTU -kommunikoinnissa jokainen kehyksessä oleva tieto lähetetään kahdeksanbittisenä tavuna vähiten merkitsevä bitti ensin. Jokaiseen kahdeksanbittiseen tavuun lisätään yksi aloitusbitti sekä loppuun mahdollinen pariteettibitti ja lopetusbitti. Jos pariteettibittiä ei käytetä, loppuun lisätään ylimääräinen lopetusbitti, jotta bitti määrä pysyy 11 bitissä. Kuvio 14 esittää lähetettävän tavun rakennetta.



Kuvio 14: Kommunikointikehysten tavun rakenne

Kun viesti on lähetetty, master jää odottamaan vastausta. Jos vastausta ei tule määritellyn vastausajan (response time-out) kuluessa, master siirtyy pois odotustilasta, jolloin se voi jälleen kommunikoida muiden laitteiden kanssa. Slave-laitteen vastatessa se asettaa osoitteensa osoitekenttään ja halutun tiedon datakenttään. Master-laite tarkistaa vastauksesta lähettäjän osoitteen sekä mahdolliset virheet. Jos vastauksen lähettäjä oli väärä, master-laite jatkaa odotustilassa, kunnes vastausaika on kulunut umpeen. Jos vastaus sisältää virheen tai vastausaika on kulunut umpeen, master-laite voi lähettää uuden kyselyn slave-laitteelle. Uudelleenkyselyiden enimmäismäärä voidaan määrittää master-laitteen asetuksissa. (Modbus_over...)

5.4 Fyysinen liityntä

Modbus RTU -väylä voidaan muodostaa fyysisesti käyttämällä RS-232- tai RS-485-liityntöjä. RS-485-liitynnästä voidaan käyttää joko kaksi- tai nelijohdinkytKenttää. Yleisimmin käytetty Modbus-väylä teollisuudessa on Modbus RTU, joka käyttää fyysistä RS-485-liityntää, kaksijohdin kytkennällä. Näitä väyliä on vakiona esimerkiksi useissa eri valmistajien taajuusmuuttajissa. RS-485-kaksijohdinväylä pitää päättää molemmista päistä, data johtimien väliin kytketyillä vastuksilla.

6 Ohjausjärjestelmä

6.1 Mini-PLC-logiikka

Tähän sovellukseen ohjelmoitavaksi logiikaksi valittiin SKS Control Mini-PLC (kuvio 15), joka on tarkoitettu työkoneiden ja laitteiden ohjaukseen. Sen valettu alumiini kotelo, hyvä kotelointiluokka ja laaja käyttölämpötila-alue tekevät siitä hyvin soveltuvan ajoneuvoissa käytettäväksi.



Kuvio 15: Mini-plc ohjelmoitava logiikka (Mini-plc manuaali...)

Logiikassa on integroituja I/O-liityntöjä yhteensä 20 kappaletta, jotka voidaan lähes vapaasti ohjelmoida joko tuloiksi tai lähdöiksi. Tietyillä I/O-liittimillä on lisäksi erikoistoimintoja kuten analogiatulo, PWM lähtö tai nopea digitaali-tulo. Logiikan käyttöjännite alue on 8 - 32 VDC. (Mini-plc manuaali...)

Logiikassa on väylä mahdollisuuksia käytettävissä kaksi can-väylää sekä RS-232- ja RS-485-liitynnät. RS-232-liityntä toimii ohjelmointiporttina logiikkaan, jota kautta voidaan ladata ohjelma ja monitoroida ohjelman kulkua. Logiikassa on erillinen RJ-45-liitin johon RS-485-liityntä on kytketty. Tätä liitintä käytetään Modbus RTU -väylän kytkemiseksi logiikkaan.

Logiikan lähdöt ovat puolijohteilla toteutettuja ja pystyvät syöttämään 3,5 ampeerin virtaa ulos. Lisäksi lähdöissä on vikadiagnostiikka, joka pystyy ilmoittamaan oikosuluista sekä avoimesta virtapiiristä. Logiikan digitaalitulot ovat optisesti erotettuja varsinaisesta prosessorista. Digitaalituloista kaksi on erikoista, sillä ne pystyvät muodostamaan keskeytyksen logiikassa. Näitä voidaan käyttää esim. nopeissa laskuri sovelluksissa. Analogiatulot toimivat 0 - 32 voltin jännitteellä ja A/D-muuntimen tarkkuus on 10 bittiä, joka tarkoittaa aluetta 0 - 1023. (Mini-plc manuaali...)

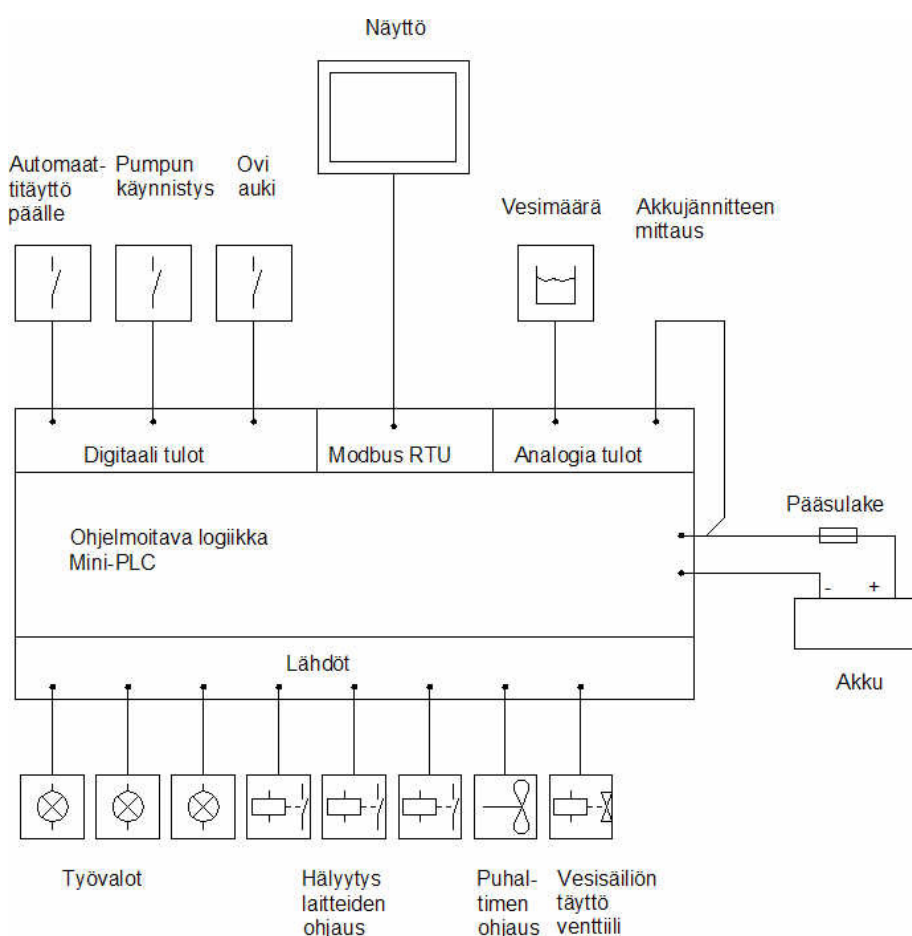
6.2 Näyttö

Käyttöpäätteeksi valittiin Weintek MT8070iH -kosketusnäyttö. Näyttö on 7 tuuman laajakuva värinäyttö, jonka erottelukyky on 800x480 pikseliä. Näyttöelementtinä on TFT-tekniikkaa hyödyntävä nestekidenäyttö, jonka päälle on liitetty nelihohtiminen resistiivinen kosketuspinta. Näytön taustavalona toimivat LED-valot ja LCD-näyttö pystyy muodostamaan 65536 väriä.

Näytössä on liityntöinä kaksi USB-porttia, Ethernet ja kaksi sarjaporttiliitintä. Näytön muistin määrää voidaan kasvattaa lisäämällä siihen SD-muistikortti. Toista USB-porteista voidaan käyttää esim. hiiren liittämiseksi näyttöön. Toinen portti voidaan käyttää näytön ohjelmoimiseksi.

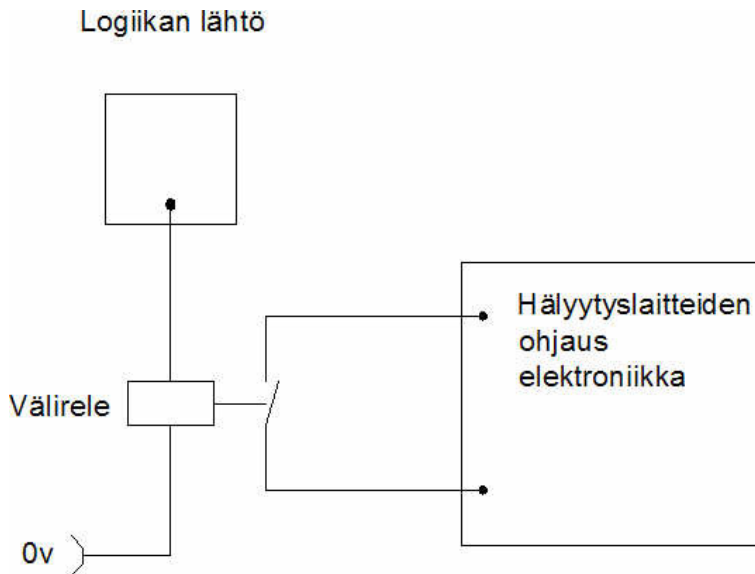
6.3 Järjestelmän kytkentä

Ohjelmoitava logiikka sijoitettiin auton ohjaamoon tulevan sähkökeskuksen yhteyteen. Paloauton takaa tulevat ohjauskytkin tiedot johdotettiin auton eteen logiikalle. Näytön vaatimaa 24 voltin jännitesyöttöä varten sähkökeskukseen asennettiin pieni invertteri, joka nostaa auton 12 voltin jännitteen 24 volttiin. Logiikkaan tulevat kytkennät tehdään vesitiiviiden moninapaliittimien kautta. Järjestelmän kytkentäperiaate selviää kuviosta 16.



Kuvio 16: Järjestelmän kytkentäperiaate

Taulukosta 1 selviävät logiikkaan kytkettyjen digitaalilähtöjen toiminnot, logiikan osoite ja symboli sekä liitin numero. Työvaloina tässä autossa ovat vähän virtaa kuluttavat led-valot, joten lähtöjen antama 3,5 ampeerin virta riittää ohjaamaan niitä suoraan ilman välirelettä. Hälytyslaitteiden ohjaukseen käytetyt lähdöt kytkettiin välireleiden kautta, koska logiikassa ei ole potentiaalivapaita koskettimia (kuvio 17).



Kuvio 17: Välirele kytkentä

Taulukko 1: Logiikkaan kytketyt digitaalilähdöt

	Osoite	Symboli	Toiminto	Liitin
LÄHDÖT	0.13	DO20	Sivutyövalot 1 päälle	X1:13
	0.12	DO19	Sivutyövalot 2 päälle	X1:11
	0.11	DO18	Sinivilkut päälle	X2:35
	0.10	DO17	Hälytysääni päälle	X2:34
	0.9	DO16	Täyttöventtiili auki	X2:33
	0.8	DO15	Pumpun jäähdytyspuhaltimet päälle	X2:12
	0.7	DO14	Toisen hälytysäänien kytkentä	X2:11
	0.6	DO13	Takatyövalot päälle	X2:10

Logiikkaan suoraan kytkettyjä digitaalituloja on vain kolme, koska suurin osa kytkimistä on näytöllä, josta tiedot tulevat väylän kautta logiikkaan. Taulukossa 2 on logiikkaan kytkettyjen digitaalitulosten toiminnot.

Taulukko 2: Logiikkaan kytketyt digitaalitulot

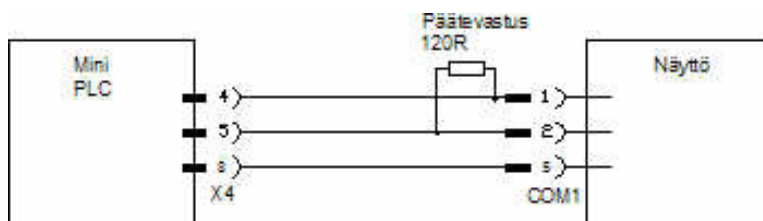
	Osoite	Symboli	Toiminto	Liitin
TULOT	0.00	DI7	Automaattitäyttö päälle	X2:4
	0.01	DI8	Pumpun käynnistys	X2:5
	0.02	DI9	Ovi auki tieto	X2:6

Logiikan analogiatuloa käytettiin veden pinnankorkeuden mittaamiseksi. Veden pinnankorkeuden anturitieto haaroitettiin auton takana olevalta vesimittarilta. Anturista ei ollut saatavilla tarkkoja tietoja, mutta tyhjällä ja täydellä vesisäiliöllä tehtyjen jännite mittausten jälkeen todettiin anturin antavan 0 - 1,5 volttiin suuruisen jänniteviestin. Lisäksi yksi analogiatulo kytkettiin syöttöjännitteeseen jotta näytölle saadaan akkujännitteestä kertova mittari. Taulukosta 3 näkyvät kytketyt analogiatulot.

Taulukko 3: Logiikkaan kytketyt analogiatulot

	Osoite	Symboli	Toiminto	Liitin
ANALOGIA-TULOT	5	AI3	Akkujännite	X2:2
	6	AI4	Veden pinnankorkeus 0-1,5v	X2:3

Näytön ja logiikan välinen kommunikointi tehtiin käyttäen Modbus RTU -väylää, joka oli ainoa yhteinen väylä, joka löytyi molemmista laitteista. Modbus RTU -väylän kytkentä logiikan ja näytön välille on esitetty kuviossa 18, RS-485-liityntään on lisätty väylän päätevastus valmiiksi logiikan sisälle ja toinen päätevastus on tinattu näyttöön tulevaan liittimeen sisälle.



Kuvio 18: Modbus-väylän kytkentä näytön ja logiikan välille

7 Ohjelmointi

7.1 Logiikan ohjelmointi

Mini-PLC-logiikka on valmistettu liittäen sen prosessoriin 3S-Smart Software Solutions GmbH -yhtiön CoDeSys runtime -ohjelma, joten sen ohjelmointi tehdään käyttäen CoDeSys V2.3 -ohjelmaa. CoDeSys-ympäristö on IEC 61131-3 -standardin mukainen ohjelmointi ohjelma ja sitä löytyy asennettuna useiden eri valmistajien laitteisiin. Tarvittaessa sopiva CoDeSys runtime -ohjelma voidaan asentaa esim. paneeli pc:hen ja näin ollen pc:tä saadaan käytettyä ohjelmoitavana logiikkana. CoDeSys -ohjelma tukee kuutta eri ohjelmointikieltä. (3s-software.)

IL (Instruction List) on käskylista muotoinen ohjelmointikieli. Ohjelmointi tehdään lista muodossa olevia käskyjä käyttäen. Jokainen listan rivi pitää sisällensä varsinaisen käskyn, käskyyn liittyvän operandin sekä mahdollisen kommentin.

ST (Structured Text) on rakenteellista tekstiä käyttävä korkeamman tason ohjelmointi tapa, joka muistuttaa paljolti Basic ja Pascal ohjelmointia. Siinä voidaan hyödyntää hyvin erilaisia ehto lauseita ja silmukoita kuten esim. if, while, case tyyppiset rakenteet.

FBD (Function Block Diagram) on graaffinen toimilohkoihin perustuva ohjelmointikieli. Se on hyvin helposti luettavissa oleva ohjelmointikieli ja soveltuu hyvin esim. ohjelman rungon tekemiseen, josta kutsutaan erilaisia aliohjelmia.

LD (Ladder Diagram) on myös graaffinen ohjelmointikieli, jonka ohjelmointi muistuttaa relekaavioiden piirtämistä.

SFC (Sequential Function Chart) on vuokaavio tyyppinen ohjelmointikieli. Se soveltuu ohjelmiin joissa toimitaan selkeästi askel kerrallaan.

CFC (Continuous Function Chart) ei ole varsinaisesti erillinen ohjelmointikieli vaan se on FBD kieleen tehty laajennus, joka sallii toimilohkojen vapaamman sijoittelun ja kytkemisen toisiinsa.

Paloauton ohjaukseen tehty ohjelma on tehty käyttäen FBD ja ST ohjelmointikieliä. Ohjelman runko on tehty käyttäen toimilohkokaaviota (FBD) ja aliohjelmat, joita pääohjelmasta kutsutaan, on tehty käyttäen rakenteellista tekstiä (ST).

7.2 Järjestelmän toiminnot

Ohjelmoitavaan logiikkaan ohjelmoitiin automaattitäyttö toiminto, jonka tarkoituksena on pitää vesisäiliössä riittävästi vettä. Kun toiminto on kytkettynä päälle, vesisäiliön vedenpinta pidetään ohjelmoitujen ylä- ja alarajojen välissä. Automaattitäyttö toiminto voidaan kytkeä päälle auton takana olevasta ohjauspaneelistä.

Ohjaamossa olevalla näytöllä on kaksi kytkintä, joilla voidaan kytkeä päälle joko ainoastaan vilkut tai vilkut ja hälytysääni. Hälytyslaitteiden ohjaukseen käytetään logiikan kolmea lähtöä, joilla ohjataan vilkkuja ja kahta eri hälytysääntä, joita vuorotellaan 20 sekunnin jaksoissa.

Vesipumppua ja paineilmakompressoria pyörittävän polttomoottorin jäähdytyspuhaltimia ohjataan niin että ne käyvät kolme minuuttia sen jälkeen kun moottori on sammutettu. Näin pyritään estämään lämpötilan nousua kalustotilassa.

Näytöllä olevia mittareita varten on A/D-muuntimen antamaa tietoa käsiteltävä laskennallisesti, jotta näytön mittarit näyttävät oikeita arvoja.

Vedenpinnankorkeusanturilta saatava tieto on välillä 0 - 1,5 voltia, jonka A/D-muunnin muuttaa vastaamaan lukuja välillä 0 - 48. A/D-muuntimen antamat arvot välillä 0 - 48 ovat tämän jälkeen muutettava vastaamaan vesimäärää 0 - 1000 litraa. Tämän laskenta perustuu verrantoon:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{Q_1}{I_1} \quad (1)$$

missä,

a_1 = Tulevan signaalin maksimi arvo – tulevan signaalin minimi arvo

a_2 = Lähtevän signaalin maksimi arvo – lähtevän signaalin minimi arvo

I_1 = Tulevan signaalin arvo

Q_1 = Mittarille lähtevän signaalin arvo

Tästä saadaan Q_1 ratkaistua, jolloin

$$Q_1 = \frac{a_2}{a_1} * I_1 \quad (2)$$

Tulevan signaalin arvosta I_1 vähentämällä mahdollinen nollasta poikkeava signaalin alkuarvo saadaan yhtälö muotoon

$$Q_1 = \frac{a_2}{a_1} * (I_1 - I_2) \quad (3)$$

missä,

I_2 = Tulevan signaalin minimi arvo

Tulosignaalin alkuarvo on tarpeellista antaa, kun käytetään anturitietona esim. 4 - 20 mA virtaviestiä, jolloin anturin signaalialue ei ala nollasta. Yhtälöön lisättiin vielä yksi termi, jolla myös lähtevän signaalin alkuarvo voidaan muuttaa nollasta poikkeavaksi. Näin päästiin yhtälöön

$$Q_1 = \frac{a_2}{a_1} * (I_1 - I_2) + I_4 \quad (4)$$

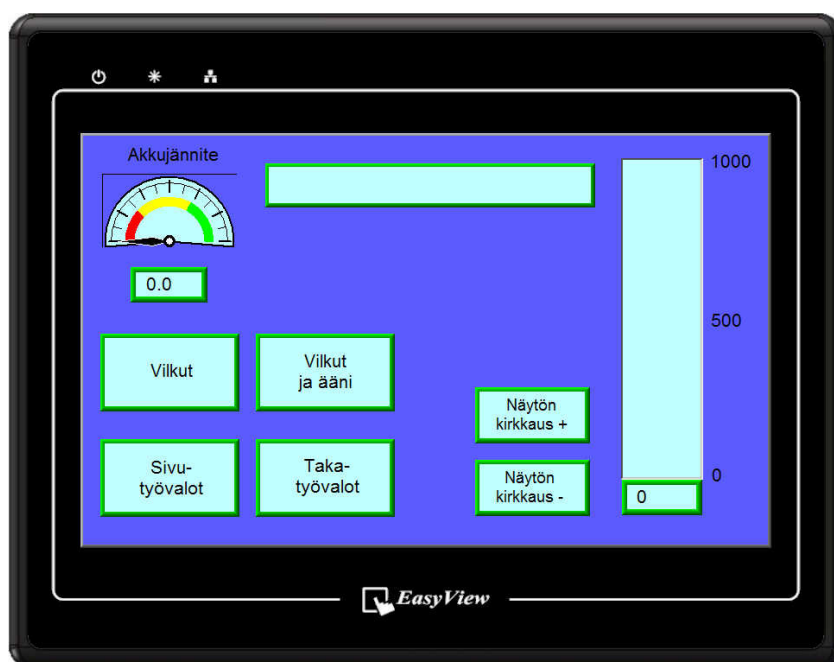
missä,

I_4 = Lähtevän signaalin minimi arvo

Tämä yhtälö (4) ohjelmoitiin logiikkaohjelmassa kutsuttuun toimilohkoon (FB), jolloin sitä pystyttiin käyttämään mittareille menevien tietojen käsittelyyn.

7.3 Näytön ohjelmointi

Näyttö ohjelmoidaan Easy builder 8000 -ohjelmalla, joka on näyttövalmistajan tähän tarkoitukseen tekemä ohjelma. Ohjelmointi on hyvin yksikertaista graafisen käyttöliittymän ansiosta, joten varsinaista ohjelmakoodia ei tarvitse kirjoittaa. Näytön valmistajan tekemistä kirjastoista voidaan valita sopivia osia kuten esim. painikkeita ja mittareita näytölle käytettäväksi. Näyttöön on tosin myös mahdollista ohjelmoida koodia suorittavia makroja, joilla voidaan tehdä monimutkaisempia toimintoja kuin valmiilla kirjasto-osilla. Kuviossa 19 on järjestelmän ohjaukseen tehty käyttöliittymä.



Kuvio 19: Käyttöliittymä

Näytöllä olevat painikkeet ovat tehty käyttäen valmiita kirjasto-osia. Kirjastosta on aluksi valittu toiminnoilta ja muodoiltaan sopiva painike. Kun painike on näytöllä sen kokoa, värejä ja toimintoja voidaan joustavasti muokata. Tähän sovellukseen painikkeille on määritetty toimintoa kuvaavat tekstit ja niiden värit on valittu

vaihtumaan erilaisiksi, kun ne ovat painettuina, jolloin erillisiä merkkivaloja ei tarvita (kuviot 20 ja 21). Jokaiselle painikkeelle on määritelty oma muistialue näytön muistista, josta logiikka pystyy lukemaan painikkeen tilan. Painikkeiden toimintatapa on valittu niin että ensimmäinen painallus kytkee toiminnon päälle ja toinen painallus lopettaa toiminnon. Ainoastaan näytön kirkkauden säätöpainikkeet on ohjelmoitu niin että kirkkautta muutetaan vain sen aikaa kun painike on painettuna. Näytön kirkkauden säädöllä haluttiin antaa mahdollisuus esim. himmentää näyttöä pimeällä ajettaessa.



Kuvio 20: Näytössä olevia painikkeita



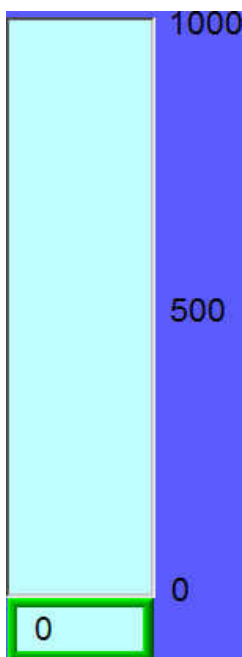
Kuvio 21: Kaksi alinta painiketta painettuna

Näytöllä olevat kaksi mittaria ovat myös kirjasto komponentteja. Akkujännitteestä kertova mittari kuviossa 22 on viisarityyppinen, ja sen alla on pieni lisänäyttö joka ilmoittaa akkujännitteen myös tarkempaa numeroarvona. Akkujännite mittarissa on määritetty punainen, keltainen ja vihreä alue, jotka ilmoittavat käyttäjälle suositelluista jännite tasoista. Jännite mittarin alue ulottuu 9 voltista 15 volttiin.



Kuvio 22: Akkujännitteestä kertova mittari

Veden määrästä ilmoittava mittari on tyypiltään pylväsnäyttö, jonka alla on myös vesimäärän litroina näyttävä numeronäyttö (kuvio 23). Tässä paloautossa vesisäiliön tilavuus on 1000 litraa, joten pylväsnäyttö on asetettu toimimaan alueella 0 - 1000 litraa. Vesimäärästä ilmoittavan pylvään väri muuttuu vesimäärän muuttuessa niin, että yli 700 litrassa väri on vihreä, 700 - 300 litraa väri on sininen ja alle 300 litrassa väri on punainen.



Kuvio 23: Säiliön vesimäärästä kertova mittari

Näytön keskellä ylhäällä on ilmoitus kenttä, jossa kerrotaan käyttäjälle paloauton tilaan liittyviä asioita kuten ”pumpun jäähdytys käynnissä”. Viestit rullaavat ilmoitus kentässä hitaalla vauhdilla ympäri. Tekstien lisäksi ilmoitus kenttään voidaan määrittää

näkymään kellonaika jolloin ilmoitus on tullut. Ilmoitukset ohjelmoidaan näytössä taulukkomuodossa, jossa niille määritetään seuraavia ominaisuuksia:

- ilmoitusteksti
- muistialueen bitti, jolla kyseinen ilmoitus näytetään
- mahdollinen äänimerkki, kun ilmoitus tulee aktiiviseksi.

Näiden lisäksi ilmoituksia voidaan jakaa eri kategorioihin, jolloin esim. ilmoitukset ja hälytykset saadaan näkymään eri kentissä. Taulukossa 4 on näyttöön ohjelmoidut ilmoitukset sekä niiden käyttämät muistialueet ja asetukset.

Taulukko 4: Näyttöön ohjelmoidut ilmoitukset

No.	Category	Text	Mode	Condition	Read address	Notification address	Buzzer
1	0	Ovi auki	BIT	ON	LW_Bit-200	Disable	Disable
2	0	Puhaltimet päällä	BIT	ON	LW_Bit-201	Disable	Disable
3	0	Pumpun jäähdytys käynnissä	BIT	ON	LW_Bit-202	Disable	Disable
4	0	Automaattitäyttö päällä	BIT	ON	LW_Bit-203	Disable	Disable
5	0	Kommunikointi häiriö	BIT	ON	LW_Bit-215	Disable	Disable

Näytön ja logiikan välinen kommunikointi on tehty käyttäen Modbus RTU -väylää. Näyttö pystyy olemaan Modbus-väylässä joko master tai slave. Mini PLC -logiikka on aina Modbus master, joten näyttö on tässä sovelluksessa määritetty toimimaan slave-tilassa. Kommunikointi nopeutena on käytössä 19200 baudia. Pariteetti on even, data bittejä on kahdeksan ja yksi lopetus bitti. Modbus-väylä on kytketty näytön COM 1-porttiin.

Näytössä on varattu Modbus-kommunikointia varten muistialue, jossa sana muotoisille viesteille on varattu alue LW0 - LW9998. Näyttö siirtää Modbus-väylälle lähetetyt sanomat sen omalle muistialueelle, josta niitä voidaan hyödyntää näytön ohjelmassa. Vastaavasti kyseiselle muistialueelle kirjoitetut arvot ovat luettavissa väylältä. Mini PLC -logiikassa Modbus-väylän osoitteeseen yksi kirjoitettu sana kytkeytyy näytön muistiin osoitteeseen LW0. Logiikasta osoitteella kaksi lähetetty sana kytkeytyy näytön muistiin LW1 jne. Vastaavasti näytössä osoitteeseen LW4 kirjoitettu sana on luettavissa logiikassa osoitteella viisi.

8 Yhteenveto

Ohjauksen tekeminen onnistui hyvin ja kaikki halutut toiminnot saatiin tehtyä.

Molempien sekä näytön että logiikan ohjelmointi oli melko yksinkertaista.

Ohjelmoinnissa ongelmallisin alue oli logiikan ja näytön välissä käytettyyn Modbus-väylään liittyvien asioiden selvittäminen ja sen toimintakuntoon saaminen. Modbus-väylä tuntui lopultakin jäävän hieman hitaaksi, ottaen huomioon että siirrettävä tietomäärä oli melko pieni. Pienestä viiveestä ei tosin ollut mitään haittaa tässä sovelluksessa.

Käyttöönottilanteessa tuli ilmi että logiikan tuloihin kytketty jännite johtui logiikan läpi syöttöjänniteliittimiin, jos logiikkaan ei ollut kytketty jännitettä. Ongelma saatiin helposti korjattua, kun tuloihin kytketyiltä kytkimiltä katkaistiin jännite samaan aikaan kuin logiikalta.

Jatkossa ohjausta voisi kehittää lisäämällä esimerkiksi lähtöjen vikadiagnostiikan näyttöön. Näyttöön voisi myös lisätä erillisen parametri sivun, josta voitaisiin määrittää esimerkiksi automaattitäytön kytkentärajat.

Lähteet

3s-software. [www-sivu]. [viitattu 22.4.2010]. Saatavissa:

<http://www.3s-software.com/index.shtml?homepage>

Hänninen, Veijo, Ohjelmoitava logiikka sulautuu. Prosessori 10/2008, s. 40–43.

Mini-PLC manuaali V1.0 BETA. [pdf- tiedosto]. Saatavissa: SKS Control Oy.

Modbus_over_serial_line_V1_02. [pdf- tiedosto]. [viitattu 14.4.2010]. Saatavissa:

http://cars9.uchicago.edu/software/epics/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf

Paja Viher-Vehmas. [www-sivu]. [viitattu 3.4.2010]. Saatavissa:

<http://www.pajaviher-vehmas.fi/DowebEasyCMS/?Page=Kevytsammutusautot>

Snellman, Henrik, Kosketusnäyttö yleistyy nopeasti. Prosessori 1 /2009, s. 34–37.

Snellman, Henrik, Litistyy ja kevenee. Prosessori 12 /2003, s. 24–27.

Snellman, Henrik, Nestekide valtaa näyttölaitteet. Prosessori 1 /2004, s. 36–39.

Wikström, Krister, Kosketa näyttöä. Prosessori 1 /2000, s. 49–53.